

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-048170

(43)Date of publication of application : 23.02.1999

(51)Int.Cl.

B25J 5/00
B62D 57/032

(21)Application number : 09-209306

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 04.08.1997

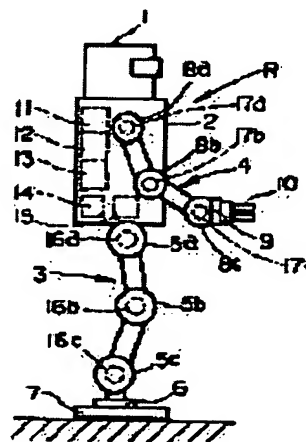
(72)Inventor : TAKENAKA TORU
KAWAI TAKAYUKI
HASEGAWA TADAAKI
MATSUMOTO TAKASHI

(54) CONTROL DEVICE FOR LEG TYPE MOVING ROBOT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a control device for a leg type moving robot in a condition likely tumbling, so as to reduce as small as possible damage received by the robot by its tumbling and damage of a mate side object against which the robot collides when it is tumbled.

SOLUTION: By an abnormality processing device 13 provided in a robot R, whether the robot R is placed in a condition likely tumbling or not is judged one after another, when a condition likely tumbling is judged, by a robot leg control, device, so as to lower down the center of gravity of the robot R (waist down) by a robot leg control device 11, an actuator 5 of a movable leg 3 is controlled. The condition likely tumbling is judged by whether a residual capacity of a battery 15 is decreased or not. In the case of lowering down the center of gravity of the robot R, regenerative generation power generated in the actuator 5 (electric motor) is returned to a side of the battery 15.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3655056

[Date of registration] 11.03.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-48170

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月23日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

B 2 5 J 5/00

B 2 5 J 5/00

C

B 6 2 D 57/032

B 6 2 D 57/02

E

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-209306

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月4日

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 竹中 透

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

(72) 発明者 河井 孝之

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

(72) 発明者 長谷川 忠明

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 辰彦 (外1名)

最終頁に続く

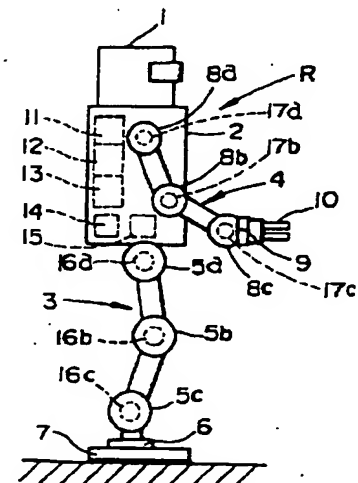
(54) 【発明の名称】 脚式移動ロボットの制御装置

(57) 【要約】

【課題】脚式移動ロボットが転倒しそうな状況で、その転倒により該ロボットが受ける損傷や、その転倒時に該ロボットが衝突する相手側の物体の損傷を可能な限り軽減することができる脚式移動ロボットの制御装置を提供する。

【解決手段】ロボットRに備えた異常処理装置13によって、ロボットRが転倒しそうな状態であるか否かを逐次判断し、転倒しそうな状態であると判断したときには、ロボット脚制御装置11によってロボットRの重心を下げる(腰を下げる)ように可動脚3のアクチュエータ5を制御する。転倒しそうな状態は、バッテリー15の残容量が少なくなったか否か等によって判断する。また、ロボットRの重心を下げる際にアクチュエータ5(電動モータ)が発生する回生発電電力をバッテリー15側に戻す。

FIG. 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】上体から複数の可動脚が下方に延設された脚式移動ロボットにおいて、該ロボットの動作時に該ロボットが転倒しそうな状態であるか否かを判断する転倒判断手段と、該転倒判断手段により該ロボットが転倒しそうな状態であると判断されたとき、該ロボットの各可動脚の関節に備えたアクチュエータを、該ロボットの重心を下げるように制御するアクチュエータ制御手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 2】前記アクチュエータは前記ロボットに搭載されたバッテリーを電源とする電動式アクチュエータにより構成されていると共に、前記バッテリーの残容量を認識する残容量認識手段を備え、前記転倒判断手段は、該残容量認識手段により認識された前記バッテリーの残容量が所定量以下に低下したとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断することを特徴とする請求項 1 記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 3】前記電動式アクチュエータは、前記アクチュエータ制御手段によって該ロボットの重心を下げるように制御された際の該電動モータの回生発電電力を前記バッテリーに充電するように該バッテリーに接続されていることを特徴とする請求項 2 記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 4】前記バッテリーの正負の両極間にダイオードを介して接続されたコンデンサを備え、と共に前記ダイオードは前記コンデンサからバッテリーへの電流の流れを阻止するように設けられ、前記電動式アクチュエータは、前記アクチュエータ制御手段によって該ロボットの重心を下げるように制御された際の該電動式アクチュエータの回生発電電力を前記コンデンサに充電するように該コンデンサに接続されていることを特徴とする請求項 2 記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 5】前記アクチュエータ制御手段が前記ロボットの重心を下げるように前記アクチュエータを制御している際に、その制御の直前又はその制御の前後の所定期間の該ロボットの動作状態を該ロボットに備えた不揮発性の記憶手段又は該ロボットの外部に備えた記憶手段に記憶させるべく、該動作状態を該記憶手段に出力する動作状態出力手段を備えたことを特徴とする請求項 3 又は 4 記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 6】前記ロボットに備えた機器の異常発生の有無を監視する機器異常監視手段を備え、前記転倒判断手段は、該機器異常監視手段により前記機器の異常発生が認識されたとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 7】前記ロボットの上体の傾斜姿勢を検出する上体傾斜姿勢検出手段と、該上体傾斜姿勢検出手段により検出された該ロボットの上体の傾斜姿勢と該ロボットに所要の動作を行わしめるべく定められた該ロボットの

上体の目標傾斜姿勢との偏差を求める上体姿勢偏差算出手段とを備え、前記転倒判断手段は、該上体姿勢偏差算出手段により求められた前記ロボットの上体の傾斜姿勢の前記目標傾斜姿勢との偏差が所定量以上大きいとき、又は、該ロボットの上体の傾斜姿勢が前記目標傾斜姿勢から離間する方向で該偏差の時間的変化度合いが所定量以上大きいとき、又は、前記偏差及びその時間的変化度合いの重み付平均の値が所定量以上大きいとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 8】前記ロボットの上体の傾斜姿勢を検出する上体傾斜姿勢検出手段と、該上体傾斜姿勢検出手段により検出された該ロボットの上体の傾斜姿勢と該ロボットに所要の動作を行わしめるべく定められた該ロボットの上体の目標傾斜姿勢との偏差を求める上体姿勢偏差算出手段と、該上体姿勢偏差算出手段により求められた前記ロボットの上体の傾斜姿勢の前記目標傾斜姿勢との偏差に基づき、該ロボットの上体の傾斜姿勢を前記目標傾斜姿勢側に戻すように該ロボットにその前記可動脚を介して床から作用させるべき床反力を求める姿勢安定化用床反力算出手段と、該姿勢安定化用床反力算出手段により求められた床反力に基づき、前記可動脚の足平部の位置及び／又は姿勢を修正する足平位置／姿勢修正手段とを備え、前記転倒判断手段は、前記姿勢安定化用床反力算出手段により求められた床反力が所定量以上大きいとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 9】前記ロボットは可動腕を備え、前記転倒判断手段により該ロボットが転倒しそうな状態であると判断されたとき、前記可動腕を着床させるように該可動腕の関節に備えたアクチュエータを制御する手段を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、脚式移動ロボットの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】二足歩行型ロボット等の脚式移動ロボットは、据置き型の産業用ロボット等と異なり、複数の可動脚の着床／離床動作を行って移動しながら、それらの可動脚により自身を床上に支持するものであるため、種々様々の要因によって、転倒を生じ易い。

【0003】例えばロボットの移動中、あるいは起立停止中に、何らかの物体との衝突等により予期しない外力が該ロボットに作用したり、移動中に床の予期しない突起物や窪みを踏んだりして該ロボットがバランスを崩したような場合には、該ロボットがその上体を可動脚によ

り支えきれなくなつて、該ロボットの転倒を生じることがある。

【0004】尚、例えば二側歩行型ロボットでは、ロボット自身に自己の姿勢を自律的に安定化するような機能を持たせたものが既に本願出願人により提案されているが（例えば特願平9-33176号）、このようなものでも、ロボットが予期しない外力等によって過度にバランスを崩した場合には、該ロボットの転倒を生じることがある。

【0005】また、可動脚の関節に備えたアクチュエータとして電源式のものをを用いると共に、このアクチュエータの電源としてロボットに搭載したバッテリーを用いるものでは、該バッテリーの残容量が少なくなり過ぎると、可動脚のアクチュエータを駆動して該可動脚の所要の動作を行わせることができなくなつて、該ロボットの転倒を生じることがある。

【0006】さらに、ロボットの動作中に、可動脚のアクチュエータや可動脚のアクチュエータの動作制御を行うための各種センサ等の機器の故障が生じた場合にも、可動脚のアクチュエータを駆動して該可動脚の所要の動作を行わせることができなくなつて、該ロボットの転倒を生じることがある。

【0007】このように脚式移動ロボットは、種々の要因により転倒の可能性を伴うものであるが、該ロボットは一般に重量物であるため、その転倒を生じた場合には、該ロボットの損傷や、あるいはその転倒時にロボットがぶつかる相手側の物体の損傷を生じやすい。特に、二足歩行型ロボットでは、その通常的な移動時や直立停止時における上体の位置が比較的高いため、転倒時に該ロボットあるいは相手側の物体が受ける損傷も大きなものとなり易い。

【0008】このため、この種の脚式移動ロボットでは、その転倒時に該ロボットや相手側の物体が受ける損傷を可能な限り軽減することができるようにすることが望まれた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明はかかる不都合を解消し、脚式移動ロボットが転倒しそうな状態で、その転倒により該ロボットが受ける損傷や、その転倒時に該ロボットが衝突する相手側の物体の損傷を可能な限り軽減することができる脚式移動ロボットの制御装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の脚式移動ロボットの制御装置はかかる目的を達成するために、上体から複数の可動脚が下方に延設された脚式移動ロボットにおいて、該ロボットの動作時に該ロボットが転倒しそうな状態であるか否かを判断する転倒判断手段と、該転倒判断手段により該ロボットが転倒しそうな状態であると判断されたとき、該ロボットの各可動脚の関節に備えたア

クチュエータを、該ロボットの重心を下げるように制御するアクチュエータ制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0011】かかる本発明によれば、前記転倒判断手段によつて、ロボットは転倒しそうな状態であると判断されたときには、前記アクチュエータ制御手段によつて、ロボットの重心を下げるように各可動脚の関節のアクチュエータが制御されるので、ロボットが転倒しそうな状況が軽減され、さらに、その後、ロボットが転倒しても該ロボットが受ける損傷が比較的小さなものとすると同時に、その転倒時に該ロボットが衝突する床等の物体の損傷も比較的小さなものととなる。

【0012】従つて、本発明によれば、脚式移動ロボットが転倒しそうな状態で、その転倒により該ロボットが受ける損傷や、その転倒時に該ロボットが衝突する相手側の物体の損傷を可能な限り軽減することができる。

【0013】かかる本発明では、例えば前記アクチュエータが前記ロボットに搭載されたバッテリーを電源とする電動式アクチュエータにより構成されている場合には、前記バッテリーの残容量を認識する残容量認識手段を備え、前記転倒判断手段は、該残容量認識手段により認識された前記バッテリーの残容量が所定量以下に低下したとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断する。

【0014】すなわち、前記アクチュエータが前記ロボットに搭載されたバッテリーを電源とする電動式アクチュエータにより構成されている場合には、前記バッテリーの残容量が不足すると、前記アクチュエータを所望通りに動作させることができなくなつて、ロボットの転倒を生じる虞れがある。そこで、前記残容量認識手段によつて認識されるバッテリーの残容量が所定量以下に低下して、該残容量がある程度少なくなったときに、前記転倒判断手段によつて、ロボットが転倒しそうな状態であると判断することで、ロボットの転倒に備えて該ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御する動作を的確なタイミングで行うことができる。また、このとき、ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御することで、ロボットの位置エネルギーが減少するため、可動脚のアクチュエータの駆動に要する電力がトータル的に減少し、バッテリーの負荷が軽減される。従つて、ロボットの転倒に備えて該ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御する動作を、バッテリーの残容量が少ない状態でも行うことができる。

【0015】この場合、ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御したとき、ロボットの位置エネルギーが減少するため、基本的には、各可動脚の電動式のアクチュエータの中には、回生発電状態になるものが存する。

【0016】そこで、本発明において上記のようにバッ

テリを備えた場合にあっては、前記電動式アクチュエータは、前記アクチュエータ制御手段によって該ロボットの重心を下げるように制御された際の該電動式アクチュエータの回生発電電力を前記バッテリーに充電するように該バッテリーに接続する。このようにすることで、バッテリーの残容量が上記所定量以下に低下したときに、前記回生発電電力によってバッテリーの容量がある程度回復するため、可能な限り十分にロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを動作させることができ、ひいてはその後にロボットが転倒しても、該ロボット等が受ける損傷を可能な限り軽減することができる。

【0017】あるいは、より好ましくは、前記バッテリーの正負の両極間にダイオードを介して接続されたコンデンサを備えると共に前記ダイオードは前記コンデンサからバッテリーへの電流の流れを阻止するように設けられ、前記電動式アクチュエータは、前記アクチュエータ制御手段によって該ロボットの重心を下げるように制御された際の該電動モータの回生発電電力を前記コンデンサに充電するように該コンデンサに接続する。すなわち、前述のように前記回生発電電力をバッテリーに充電するようにしたとき、該バッテリーの残容量が大きく低下しているような状態では、該回生発電電力の大部分がバッテリーによって消費され、ロボットの重心を下げる際に電力消費を要する可動脚のアクチュエータに必要な電力を供給することができないという事態が生じる場合もある。そこで、前記のようにバッテリーの正負の両極間にダイオードを介して接続されたコンデンサに前記回生発電電力を充電するようにすることで、該回生発電電力は、バッテリーによって消費されることはないので、該回生発電電力をロボットの重心を下げる動作のために効果的に使用することができる。

【0018】さらに、上記のように可動脚の回生発電電力を活用する場合、前記アクチュエータ制御手段が前記ロボットの重心を下げるように前記アクチュエータを制御している際に、その制御の直前又はその制御の前後の所定期間の該ロボットの動作状態を該ロボットに備えた不揮発性の記憶手段又は該ロボットの外部に備えた記憶手段に記憶させるべく、該動作状態を該記憶手段に出力する動作状態出力手段を備えておくことで、前記アクチュエータの回生発電電力を利用してロボットの重心を下げるようにアクチュエータを制御する直前の該ロボットの動作状態を該ロボットに備えた不揮発性の記憶手段又は該ロボットの外部に備えた記憶手段に記憶させることもできる。そして、このようにロボットの動作状態を記憶しておくことで、ロボットが正常に動作可能な状態に復帰した後に、該ロボットを元の状態から動作させることが可能となる。また、記憶手段に記憶保持した動作状態のデータを、ロボットの異常あるいは故障の原因の解析等のために活用することが可能となる。

【0019】また、本発明では、前記ロボットに備えた

機器の異常発生の有無を監視する機器異常監視手段を備え、前記転倒判断手段は、該機器異常監視手段により前記機器の異常発生が認識されたとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断する。すなわち、例えば前記アクチュエータの故障、ロボットを制御するための各種センサの故障、あるいは電気配線の断線等、ロボットに備えた機器の異常が生じた場合には、前記アクチュエータを正常に動作させることができなくなってロボットの転倒の虞れがある。従って、前記機器異常監視手段によって、機器の異常発生が認識されたときに、ロボットが転倒しそうな状態であると判断することで、ロボットの転倒に備えて該ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御する動作を的確なタイミングで行うことができる。

【0020】また、本発明において、前記ロボットの上体の傾斜姿勢を検出する上体傾斜姿勢検出手段と、該上体傾斜姿勢検出手段により検出された該ロボットの上体の傾斜姿勢と該ロボットに所要の動作を行わしめるべく定められた該ロボットの上体の目標傾斜姿勢との偏差を求める上体姿勢偏差算出手段とを備えたときには、前記転倒判断手段は、該上体姿勢偏差算出手段により求められた前記ロボットの上体の傾斜姿勢の前記目標傾斜姿勢との偏差が所定量以上大きいとき、又は、該ロボットの上体の傾斜姿勢が前記目標傾斜姿勢から離間する方向で該偏差の時間的変化度合いが所定量以上大きいとき、又は、前記偏差及びその時間的変化度合いの重み付平均の値が所定量以上大きいとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断する。すなわち、前記上体姿勢偏差算出手段により求められた前記ロボットの上体の傾斜姿勢の前記目標傾斜姿勢との偏差が大きい状態は、ロボットの上体が本来のあるべき姿勢に対して傾き過ぎている状態であり、また、上体の傾斜姿勢が目標傾斜姿勢から離間する方向で上記偏差の時間的変化度合いが大きい状態は、ロボットの上体の姿勢が予期しない外力等によって本来のあるべき姿勢から急速に崩れていく状態であるから、該ロボットの姿勢のバランスが崩れて該ロボットが転倒する虞れがある。従って、上記偏差やその時間的変化度合い、あるいはこれらの重み付平均の値が所定量以上大きくなったときに、ロボットが転倒しそうな状態であると判断することで、ロボットの転倒に備えて該ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御する動作を的確なタイミングで行うことができる。

【0021】また、本発明において、前記ロボットの上体の傾斜姿勢を検出する上体傾斜姿勢検出手段と、該上体傾斜姿勢検出手段により検出された該ロボットの上体の傾斜姿勢と該ロボットに所要の動作を行わしめるべく定められた該ロボットの上体の目標傾斜姿勢との偏差を求める上体姿勢偏差算出手段と、該上体姿勢偏差算出手段により求められた前記ロボットの上体の傾斜姿勢の前

記目標傾斜姿勢との偏差に基づき、該ロボットの上体の傾斜姿勢を前記目標傾斜姿勢側に戻すように該ロボットにその前記可動脚を介して床から作用させるべき床反力を求める姿勢安定化用床反力算出手段と、該姿勢安定化用床反力算出手段により求められた床反力に基づき、前記可動脚の足平部の位置及び／又は姿勢を修正する足平位置／姿勢修正手段とを備えた場合にあっては、前記転倒判断手段は、前記姿勢安定化用床反力算出手段により求められた床反力が所定量以上大きいとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断する。

【0022】すなわち、ロボットの上体の傾斜姿勢の前記目標傾斜姿勢との偏差に基づき、ロボットの上体の傾斜姿勢を前記目標傾斜姿勢側に戻すように該ロボットにその前記可動脚を介して床から作用させるべき床反力を求め、その求めた床反力に基づき、前記可動脚の足平部の位置及び／又は姿勢を修正する場合には、基本的には、該ロボットは自律的に自己の姿勢を安定化するように足平部の位置及び／又は姿勢を修正するのであるが、このとき、上記床反力が過大であるということは、該ロボットの姿勢を安定化するためには、前記可動脚の足平部の位置及び／又は姿勢を大幅に修正する必要があるか、もしくは、實際上、ロボットの姿勢を安定な姿勢状態に復元することができない程、ロボットの姿勢のバランスが崩れている状態を意味する。従って、前記床反力所定量以上大きいとき、前記ロボットが転倒しそうな状態であると判断することで、ロボットの転倒に備えて該ロボットの重心を下げるように各可動脚のアクチュエータを制御する動作を的確なタイミングで行うことができる。

【0023】さらに、本発明では、前記ロボットが可動腕を備えるときには、前記転倒判断手段により該ロボットが転倒しそうな状態であると判断されたとき、前記可動腕を着床させるように該可動腕の関節に備えたアクチュエータを制御する手段を備えることが好ましい。

【0024】これによれば、ロボットが転倒しそうな状況では、該ロボットの重心が下げるように各可動脚が動作すると同時に、可動腕が着床するように動作するため、ロボットの転倒に際して該ロボット等が受ける損傷をさらに効果的に軽減することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明の第1の実施形態を図1乃至図7を参照して説明する。

【0026】まず、図1は本実施形態におけるロボットの全体構成を示す側面図であり、本実施形態でのロボットRは二足歩行型の脚式移動ロボットである。このロボットRは、頭部1を上端部に支持する胴体2（ロボットRの上体）の下部から一対の可動脚3（図では便宜上、一本の可動脚3のみを示す）が下方に延設され、また、胴体2上部の左右両側部から一対の可動腕4（図では便宜上、一本の可動腕4のみを示す）が延設されている。

【0027】各可動脚3は、その胴体2との連結箇所（股関節）と膝関節と足首関節とにそれぞれ股関節アクチュエータ5a、膝関節アクチュエータ5b及び足首関節アクチュエータ5cを備え、さらに、足首関節アクチュエータ5cの下側には、6軸力センサ6を介して足平部7が取着されている。

【0028】この場合、本実施形態では、股関節アクチュエータ5aは、ロボットRの前後、左右及び上下方向の3軸回りの回転動作を行うもので、3個の電動モータ（電動式アクチュエータ。図1では図示省略）により構成されている。また、膝関節アクチュエータ5bは、左右方向の1軸回りの回転動作を行うもので、1個の電動モータ（図1では図示省略）により構成されている。さらに、足首関節アクチュエータ5cは前後及び左右方向の2軸回りの回転動作を行うもので、2個の電動モータ（図1では図示省略）により構成されている。そして、これらの各アクチュエータ5a～5cを駆動することで、人間の脚とほぼ同様の可動脚3の動作（足平部7の6自由度の動作）を行うことができるようになっている。尚、前記6軸力センサ6は、各可動脚3の動作制御を行うために足平部7への作用力（ロボットRの前後、左右及び上下の3軸方向の力（並進力）成分及びモーメント成分）を検出するものである。

【0029】このような可動脚3の構造と同様に、各可動腕4は、胴体2との連結箇所（肩関節）と肘関節と手首関節とにそれぞれ肩関節アクチュエータ8a、肘関節アクチュエータ8b及び手首関節アクチュエータ8cを備え、該手首関節アクチュエータ8cに6軸力センサ9を介してハンド10が取着されている。

【0030】この場合、肩関節アクチュエータ8aは、前後、左右及び上下方向の3軸回りの回転動作、肘関節アクチュエータ8bは、ロボットRの左右方向の1軸回りの回転動作、手首関節アクチュエータ8cは前後、左右及び上下方向の3軸回りの回転動作を行うもので、前記可動脚3のアクチュエータ5a～5cと同様に、各アクチュエータ8a～8cはそれぞれの回転動作の自由度と同数の電動モータ（図1では図示省略）により構成されている。

【0031】また、胴体2には、前記各可動脚3の各アクチュエータ5a～5cを駆動・制御するロボット脚制御装置11（可動脚3のアクチュエータ制御手段）と、前記各可動腕4の各アクチュエータ8a～8cを駆動制御するロボット腕制御装置12と、ロボットRが転倒しそうな状況での異常処理を行う異常処理装置13と、ロボットRの上体（胴体2）の傾斜姿勢（傾斜角）を図示しない加速度センサやレートジャイロを用いて検出する傾斜検出器14（上体傾斜姿勢検出手段）と、前記各アクチュエータ5a～5c、8a～8cやロボット脚制御装置11、ロボット腕制御装置12、異常処理装置13等、ロボットRに備えられた各種電子機器の電源として

のバッテリー15とが搭載されている。尚、ロボット脚制御装置11、ロボット腕制御装置12及び異常処理装置13はマイクロコンピュータを用いて構成されたものである。

【0032】さらに、各可動脚3の各アクチュエータ5a~5cの箇所にはそれらの変位（各軸回りの回転角）を検出するアクチュエータ変位検出器16a~16c（詳しくは各アクチュエータ5a~5cを構成する各電動モータの回転角を検出するエンコーダ）が備えられ、同様に、各可動腕4の各アクチュエータ8a~8cの箇所にもアクチュエータ変位検出器17a~17cが備えられている。

【0033】尚、以下の説明において、各可動脚3の各アクチュエータ5a~5cを脚アクチュエータ5と総称し、また、これらに対応する各アクチュエータ変位検出器16a~16cを脚アクチュエータ変位検出器16と総称する。同様に、各可動腕4の各アクチュエータ8a~8cを腕アクチュエータ8、これらに対応する各アクチュエータ変位検出器17a~17cを腕アクチュエータ変位検出器17と総称する。

【0034】前記バッテリー15は、図2に示すように前記脚アクチュエータ5等と接続されている。

【0035】すなわち、同図2において、18は脚アクチュエータ5を構成する複数（本実施形態では計6個）の電動モータ、19は腕アクチュエータ8を構成する複数（本実施形態では計6個）の電動モータを示しており、これらの各電動モータ18、19が、それぞれアンプ20、21を介してバッテリー15の正負の両極間に接続されると共に、前記ロボット脚制御装置11、ロボット腕制御装置12及び異常処理装置13がその動作電力を受けるべくバッテリー15の正負の両極間に接続されている。各電動モータ18、19とバッテリー15との間のアンプ20、21は、それぞれロボット脚制御装置11及びロボット腕制御装置12から与えられる駆動指令に従って各電動モータ18、19を動作させるもので、各電動モータ18、19の通常の動作時（各電動モータ18、19がその発生トルクと同方向に回転するか、回転動作が停止している場合）には、バッテリー15の蓄電電力を各電動モータ18、19に給電するように機能する。また、アンプ20、21は、各電動モータ18、19の回生発電時（各電動モータ18、19がロボットRの自重等によってその発生トルクと逆方向に回転する場合）には、その回生発電電力をバッテリー15側に戻すように機能する。

【0036】尚、バッテリー15の正負の両極間には、前記アンプ20、21やロボット脚制御装置11等の他、コンデンサ22が接続されており、このコンデンサ22はバッテリー15の起電力あるいは各電動モータ18、19の回生発電電力によって充電され、各電動モータ18、19やロボット脚制御装置11等に付与する電源電

圧を安定化するように機能する。

【0037】また、バッテリー15から前記アンプ20、21やロボット脚制御装置11等への給電経路にはバッテリー15を流れる電流（方向を含む。以下、バッテリー電流という）を検出する電流検出器23が介装され、さらに、バッテリー15の正負の両極間には、バッテリー15の端子電圧（以下、バッテリー電圧という）を検出する電圧検出器24が接続されている。これらの、電流検出器23及び電圧検出器24の検出値は、詳細は後述するが、前記異常処理装置13におけるバッテリー15の残容量の認識等のために使用されるものである。

【0038】図3を参照して、異常処理装置13は、その機能的構成として、残容量認識手段25、機器異常監視手段26、転倒判断手段27、動作状態出力手段28及び記憶手段29を具備する。

【0039】残容量認識手段25は、バッテリー15の残容量を認識するもので、その認識を行うために、前記電流検出器23及び電圧検出器24からそれぞれバッテリー電流及びバッテリー電圧の検出値が逐次取り込まれる。そして、該残容量認識手段25は、これらの検出値から例えば次のようにバッテリー15の残容量を認識する。

【0040】すなわち、残容量認識手段25は、バッテリー電流の検出値を積算することで、バッテリー15の初期状態からの電気的な使用量を逐次求め、それをバッテリー15の初期容量から減算することで、バッテリー15の残容量の基本値を求める。そして、その残容量の基本値にバッテリー電圧の検出値に応じた所定の補正を施すことで、最終的にバッテリー15の残容量を推定して認識し、その残容量の推定値を転倒判断手段27に与える。

【0041】尚、バッテリー15の残容量の認識手法は種々の手法が公知となっており、上記のような手法とは異なる手法で残容量を認識するようにしてもよい。例えば、残容量の推定精度をさほど高くする必要がない場合には、バッテリー電流の検出値及びバッテリー電圧の検出値のいずれか一方のみのデータから残容量を認識するようにしてもよく、また、残容量の推定精度を高くする必要がある場合には、バッテリー電流やバッテリー電圧の他、バッテリー15の温度、比重等を検出し、それらの検出値に基づいて残容量を認識するようにしてもよい。

【0042】機器異常監視手段26は、前記脚アクチュエータ5、脚アクチュエータ変位検出器16、6軸力センサ6、傾斜検出器14、電流検出器23、電圧検出器24、あるいはこれらに接続されたケーブル（図示しない）等、ロボットRに備えられた機器（特に可動脚3の動作あるいはロボットRの姿勢に影響を及ぼす機器）の異常発生の有無を監視するもので、前記ロボット脚制御装置11によって後述するように生成される脚アクチュエータ5の駆動指令や、脚アクチュエータ変位検出器16等の各種センサの出力等のデータが与えられる。そして、機器異常監視手段26は、与えられたデータに基づ

き、上記の各種機器の異常発生の有無を監視し、異常が発生した場合には、その旨（以下、異常発生出力という）を転倒判断手段27に与える。

【0043】転倒判断手段27は、ロボットRが転倒しそうな状態であるか否かを判断するもので、その判断を行うために、前記残容量の推定値及び前記異常発生出力がそれぞれ残容量認識手段25及び機器異常監視手段26から与えられる他、ロボット脚制御装置11によって求められる補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} （詳細は後述する）がロボット脚制御装置11から与えられる。そして、転倒判断手段27は、残容量認識手段25から与えられた残容量の推定値があらかじめ設定された所定値以下に低下した場合、すなわち、バッテリー15の残容量が脚アクチュエータ5の電動モータ18を正常に動作させることができない虞れを生じる程度に、少なくともなった場合には、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断する。また、転倒判断手段27は、機器異常監視手段26から前記異常発生出力が与えられたときには、可動脚3を正常に動作させることができない虞れがあるので、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断する。さらに、転倒判断手段27は、ロボット脚制御装置11から与えられる補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} があらかじめ設定された所定値よりも大きくなった場合には、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断する（これについては後に補足説明を行う）。

【0044】尚、転倒判断手段27は、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断したときには、その旨（以下、転倒予想出力という）を前記動作状態出力手段28とロボット脚制御装置11とに与える。

【0045】動作状態出力手段28は、ロボットRの動作状態を規定するデータ、例えば脚アクチュエータ5や腕アクチュエータ8の目標変位（電動モータ18、19の目標回転角）やその変位の検出値、あるいは、脚アクチュエータ5の目標変位を決定する過程で後述するように生成される目標上体位置／姿勢軌道や目標足平位置／姿勢軌道等のデータ（以下、動作状態データという）が逐次、ロボット脚制御装置11やロボット腕制御装置12から与えられるようになっており、前述のように転倒判断手段27から前記転倒予想出力が与えられたとき、その直前あるいはその前後の所定期間の前記動作状態データを記憶手段29に出力して、該記憶手段29に記憶保持させる。

【0046】尚、本実施形態では、記憶手段29は、不揮発性のもので、例えばEEPROMにより構成されている。

【0047】図4を参照して、ロボット脚制御装置11は、その機能的構成として同図示のように、歩容生成器30、目標床反力分配器31、複合コンプライアンス動作決定部32（足平位置／姿勢修正手段）、キネマティクス演算部33、変位コントローラ34、上体姿勢偏差

算出部35（上体姿勢偏差算出手段）、及び姿勢安定化制御演算部36（姿勢安定化用床反力算出手段）を具備する。

【0048】尚、これらの機能的構成を具備するロボット脚制御装置11の詳細は、既に本願出願人が例えば特願平9-33176号にて説明している通りであるので、ここでは、以下に基本的な概要を説明する。

【0049】歩容生成器30は、各可動脚3の基本的な動作形態を規定する目標歩容を生成するもので、該目標歩容は、目標運動パターン（より具体的には目標上体位置／姿勢軌道及び目標足平位置／姿勢軌道）と、目標床反力パターン（より具体的には目標全床反力中心点及び目標全床反力）とから成る。

【0050】ここで、目標上体位置／姿勢軌道は、ロボットRの上体（胴体2）の位置及び姿勢（上体の空間的な向き）の目標軌道であり、目標足平位置／姿勢軌道は、ロボットRの各足平部7の位置及び姿勢（足平部7の空間的な向き）の目標軌道である。

【0051】また、床反力は、床から受ける並進力及びモーメントによって表されるもので、全床反力は、ロボットRの各可動脚3の足平部7に作用する床反力を合成したものである。そして、この全床反力の目標値が目標全床反力である。

【0052】また、全床反力中心点は、上記全床反力のロボットRに対する作用点を意味するものであり、この作用点は、全床反力の鉛直方向の軸回りのモーメント成分以外のモーメント成分が「0」となるような床面上の点として定義されるものである。そして、この全床反力中心点の目標位置が目標全床反力中心点である。尚、全床反力中心点の目標位置である目標全床反力中心点は、所謂ZMP（Zero Moment Point）の目標位置、すなわち、前記目標運動パターンによって発生するロボットRの慣性力と該ロボットRに作用する重力との合力の床面上への作用点で且つ鉛直方向の軸回りのモーメント成分以外のモーメント成分が「0」となるような点の目標位置と一致する。

【0053】目標床反力分配器31は、歩容生成器30から与えられる目標足平位置／姿勢軌道及び目標全床反力中心点、並びに、ロボットRの歩行に際しての支持脚側の足平部7に対する遊脚側の足平部7の着床位置／姿勢や各足平部7の動作タイミング等を規定する歩容パラメータに基づき、制御サイクル毎の目標各足平床反力中心点を決定し、さらには、その決定した目標各足平床反力中心点と歩容生成器30から与えられる目標全床反力とに基づき、制御サイクル毎の目標各足平床反力を決定するものである。ここで、各足平床反力は、ロボットRの各足平部7が床から受ける並進力及びモーメントにより表されるもので、その目標値が目標各足平床反力である。また、各足平床反力中心点は、上記各足平床反力の各足平部7に対する作用点であり、この作用点は、前記

全床反力中心点と同様、各足平床反力の鉛直方向の軸回りのモーメント成分以外のモーメント成分が「0」となるような床面上の点として定義されるものである。そして、このような各足平床反力中心点の目標位置が目標各足平床反力中心点である。

【0054】この場合、目標床反力分配器31は、例えば目標各足平床反力中心点を結ぶ線分上に前記目標全床反力中心点が存する、ロボットRの一方の足平部7が空中に存する片脚支持期では支持脚側の足平部7の目標床反力中心点は前記目標全床反力中心点と一致する等の所定の条件を満たすように制御サイクル毎の各足平床反力中心点を決定する。また、目標床反力分配器31は、各足平部7に対応する目標各足平床反力の合力が目標全床反力に一致するように目標各足平床反力を決定する。

【0055】上体姿勢偏差算出部35は歩容生成器30により生成される前記目標上体位置／姿勢軌道により定まる制御サイクル毎のロボットRの上体（胴体2）の目標傾斜姿勢（上体の傾斜角の目標値）と前記傾斜検出器24により検出されるロボットRの上体の実傾斜姿勢との偏差（以下、上体姿勢偏差という）を算出するものである。ここで、算出する上体姿勢偏差は、ロボットRの前後方向回りの偏差 θ_{errx} と左右方向回りの偏差 θ_{erry}

である。

【0056】姿勢安定化制御演算部36は、ロボットRの上体の実傾斜姿勢を目標傾斜姿勢に復元させる方向で、前記目標全床反力中心点を作用点として付加的にロボットRに床から作用させるべき床反力（ここでは、これを補償全床反力と称する）を、前記上体姿勢偏差算出部35から与えられる上体姿勢偏差 θ_{errx} 、 θ_{erry} に基づき算出するものである。この場合、本実施形態では、ロボットRの上体の傾斜姿勢を復元させる方向は、ロボットRの上体の前後及び左右の回転方向（傾斜角方向）であるので、姿勢安定化制御演算部36が算出する前記補償全床反力は、目標全床反力中心点回りの前後方向回りのモーメント M_{dmdx} 及び左右方向回りのモーメント M_{dmdy} である（以下、これらのモーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} を補償全床反力モーメントと称する）。そして、姿勢安定化制御演算部36は、補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} をそれぞれ、前記上体姿勢偏差 θ_{errx} 、 θ_{erry} の値及びそれらの変化速度 $d\theta_{errx}/dt$ 、 $d\theta_{erry}/dt$ （上体姿勢偏差の時間的変化度合い）から次式（1）、（2）により決定する。

【0057】

$$M_{dmdx} = -K_{thx} \cdot \theta_{errx} - K_{wx} \cdot (d\theta_{errx}/dt) \dots\dots (1)$$

$$M_{dmdy} = -K_{thy} \cdot \theta_{erry} - K_{wy} \cdot (d\theta_{erry}/dt) \dots\dots (2)$$

ここで、 K_{thx} 、 K_{wx} 、 K_{thy} 、 K_{wy} はそれぞれ所定のゲイン値である。

【0058】このようにして決定される補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} の値は、上体姿勢偏差 θ_{errx} 、 θ_{erry} が大きい程、大きくなり、また、実傾斜姿勢が目標傾斜姿勢から離間する方向での上体姿勢偏差 θ_{errx} 、 θ_{erry} の変化速度が大きい程、大きくなる。但し、上体姿勢偏差 θ_{errx} 、 θ_{erry} が多少大きくても、その変化速度の方向が、実傾斜姿勢が目標傾斜姿勢に近づく方向である場合には（このような状況は例えばロボットRがその上体を目標傾斜姿勢に向かって起き上がらせようとしている場合に過渡的に生じる）、補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} は、比較的小さなものとなる。

【0059】複合コンプライアンス動作決定部32は、基本的には、前記6軸力センサ6の出力により各足平部7毎に検出される実各足平床反力の合力である実全床反力を、前記目標全床反力と補償全床反力（補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} ）との合力に追従させるように（但し、各足平部7の適正な接地性を確保し得る範囲内において）、目標足平位置／姿勢軌道を修正するもので、その修正量を、歩容生成器30で生成された目標全床反力中心点、目標床反力分配器31で生成された目標各足平床反力中心点、6軸力センサ6の出力により各足平部7毎に検出される実各足平床反力、並びに、姿勢安定化制御演算部36で求められた補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} に基づき求める。この場合、目標全床

反力の作用点である目標全床反力中心点では、前述の定義の通り、ロボットRの前後及び左右方向における目標全床反力のモーメント成分は「0」であるので、目標全床反力と補償全床反力との合力の前後及び左右方向におけるモーメント成分は補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} であり、従って、目標足平位置／姿勢軌道の修正は、実全床反力の前後及び左右方向におけるモーメント成分を補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} に追従させるように行われる。

【0060】尚、このような目標足平位置／姿勢軌道の修正は、本発明の本質をなすものではなく、また、その詳細は本願出願人が例えば特願平9-33176号にて説明している通りであるので、ここではさらなる説明を省略する。また、複合コンプライアンス動作決定部32は、上記の修正の他、さらに、足平部7に備えた図示しない弾性機構の変形を考慮した目標足平位置／姿勢軌道の修正（機構変形補償）も行うようにしているのであるが、これについても、前記特願平9-33176号にて詳細に説明されているので、ここでは説明を省略する。尚、前記目標全床反力及び目標各足平床反力は、上記機構変形補償を行うために用いるもので、これを行わない場合には、目標全床反力や目標各足平床反力を設定する必要はない。

【0061】キネマティクス演算部33は、歩容生成器30が生成する前記目標上体位置／姿勢軌道における制御サイクル毎の目標上体位置／姿勢と、複合コンプライ

アンス動作決定部 32 により目標足平位置／姿勢軌道を修正してなる修正目標足平位置／姿勢軌道における制御サイクル毎の目標足平位置／姿勢とから、ロボット R の幾何学モデルに基づく逆キネマティクス演算によって、制御サイクル毎に前記脚アクチュエータ 5 の目標変位（詳しくは脚アクチュエータ 5 を構成する各電動モータ 18 の目標回転角）を求めるものである。

【0062】変位コントローラ 34 は、前記脚アクチュエータ変位検出器 16 により検出される脚アクチュエータ 5 の実変位（詳しくは脚アクチュエータ 5 を構成する各電動モータ 18 の実回転角）を、キネマティクス演算部 33 で求められた目標変位に追従させるように前記アンプ 20 への駆動指令を生成し、該アンプ 20 を介して脚アクチュエータ 5 をフィードバック制御するものである。

【0063】以上説明したようなロボット脚制御装置 11 の機能によって、ロボット R の各可動脚 3 は、基本的には、歩容生成器 30 で生成される目標運動パターン（目標上体位置／姿勢軌道及び目標足平位置／姿勢軌道）に従って動作し、このとき、ロボット R の上体の実傾斜姿勢を目標傾斜姿勢に復元させるための補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} を目標全床反力中心点回りに生ぜしめるように、複合コンプライアンス動作決定部 32 によって目標足平位置／姿勢軌道が適宜修正されることで、ロボット R の可動脚 3 は該ロボット R の上体の姿勢を自律的に安定化させるように動作することとなる。

【0064】尚、前記ロボット腕制御装置 12 は、例えばあらかじめティーチングされ、あるいは外部から通信によって指令される各可動腕 4 の所要の動作形態に従って前記腕アクチュエータ 8 の目標変位（詳しくは腕アクチュエータ 8 を構成する各電動モータ 19 の目標回転角）を決定する。そして、その決定した目標変位に、前記腕アクチュエータ変位検出器 17 により検出される腕アクチュエータ 8 の実変位（詳しくは腕アクチュエータ 8 を構成する各電動モータ 19 の実回転角）を追従させるように前記アンプ 21 への駆動指令を生成し、該アンプ 21 を介して腕アクチュエータ 8 をフィードバック制御する。

【0065】ここで、本実施形態において、前記ロボット脚制御装置 11 の歩容生成器 30 が生成する目標運動パターンについて説明しておく。

【0066】歩容生成器 30 が、例えばロボット R の通常の移動（歩行）に際して生成する目標運動パターンや目標床反力パターンは、前記特願平 9-33176 号あるいは特願平 8-214261 号にて本願出願人が詳細に説明しているので、ここでは詳細な説明を省略するが、例えば歩行時の目標運動パターンは、図 5 に示すようなパターンで生成される。図 5 は、ロボット R の歩行時にその一方の可動脚 3（ここでは参照符号 3a を付す

る）がその足平部 7 の踵部分で着床を開始した状態（図 5 の最上段の図）から、該可動脚 3a を支持脚として、他方の遊脚側の可動脚 3（ここでは参照符号 3b を付する）の足平部 7 を離床させて前方に移動させ（図 5 の上から二段目の及び三段目の図）、さらに、その遊脚側の可動脚 3b の足平部 7 をその踵側から着床させるまで（図 5 の最下段の図）の運動パターン、つまり、歩行時の一歩分の運動パターンを模式的に表したものである。この運動パターンは、基本的には、人間が通常歩行する場合の動作パターンと同様である。

【0067】一方、本実施形態では、歩容生成器 30 は、前記転倒判断手段 27 から転倒予想出力が与えられたときには、例えば図 6 及び図 7 に示すような目標運動パターンを生成する。

【0068】すなわち、図 6 は、例えばロボット R の通常の歩行途中で（図 6 の最上段の図）、転倒判断手段 27 から転倒予想出力が与えられた場合に歩容生成器 30 が生成する目標運動パターンを模式的に例示するものであり、この場合、該目標運動パターンは、図 6 の上から二段目の図、三段目の図、及び四段目（最下段）の図に順に示すように、遊脚側の可動脚 3b の離床・着床を行いつつロボット R が腰をかがめて該ロボット R の上体（胴体 2）の重心を下げるように生成される。つまり、歩容生成器 30 は、目標運動パターンに含まれる前記目標上体位置／姿勢軌道における目標上体位置を徐々に下げていくように該目標上体位置／姿勢軌道を生成する。

【0069】また、図 7 は、例えばロボット R が直立停止している状態で（図 7 の最上段の図）、転倒判断手段 27 から転倒予想出力が与えられた場合に歩容生成器 30 が生成する目標運動パターンを模式的に例示するものであり、この場合、該目標運動パターンは、図 7 の上から二段目の図、三段目の図、及び四段目（最下段）の図に順に示すように、ロボット R が腰をかがめて該ロボット R の上体（胴体 2）の重心を下げるように生成される。

【0070】さらに、前記姿勢安定化制御演算部 36 が算出する前記補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} に基づく前記転倒判断手段 27 の判断処理について補足しておく。

【0071】前述の通り、補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} はロボット R の上体の実傾斜姿勢を目標傾斜姿勢に自律的に復元させるために、前記目標全床反力中心点を作用点として付加的にロボット R に床から作用させるべき床反力（モーメント）であり、該ロボット R の目標足平位置／姿勢軌道、従って、該ロボット R の各足平部 7 の実際の位置／姿勢は基本的には、上記補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} が目標全床反力中心点回りに生じるように修正される。例えばロボット R の上体の実傾斜姿勢が目標傾斜姿勢から離間する方向で前方側に傾きつつあるときには、着床している足平部 7 の位置

／姿勢が、該足平部7の前部に床からの圧力が集中するように修正される（このとき、目標全床反力中心点回りにロボットRを後傾側に戻すようなモーメント（ M_{dmdy} ）が生じる）。

【0072】しかるに、補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} が過大であると、足平部7の接地性を確保しつつ、補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} を生ぜしめるように足平部7の位置／姿勢を修正することは實際上、困難となり、このような場合には、ロボットRの転倒が予想される。

【0073】このために、前記転倒判断手段27は、前述のように補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} が所定値を超えた場合（より詳しくは、 M_{dmdx} 又は M_{dmdy} が所定値を超えた場合）に、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断し、転倒予想出力を生成するのであるが、このとき、この判断を行うための上記所定値は、ロボットRの両足平部7が着床している状態（両脚支持期）と一方の足平部7のみが着床している状態（片脚支持期）とでは、異なる値に設定することが好ましい。

【0074】すなわち、両脚支持期では、補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} が比較的大きくても、両足平部7の位置／姿勢の修正によって、該補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} を目標全床反力中心点回りに生ぜしめることが可能であるが、片脚支持期では、一方の足平部7のみの位置／姿勢の修正によって補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} を目標全床反力中心点回りに生ぜしめることとなるため、生ぜしめることが可能な補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} は、両脚支持期に比して小さい。

【0075】そこで、本実施形態では、転倒判断手段27による判断を行うために補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} と比較する前記所定値は、ロボットRの両脚支持期と片脚支持期とで異なる値に設定され、前者の方が後者よりも大きな値に設定されている。

【0076】尚、足平部7の位置／姿勢の修正によって生ぜしめることが可能な補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} は、足平部7の形状等によって、一般にはそれぞれのモーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} 毎に異なるため、さらに、各補償全床反力モーメント M_{dmdx} 、 M_{dmdy} 毎に各別に前記所定値を設定しておいてもよい。

【0077】次に、本実施形態の装置の作動、特に、前記転倒判断手段27によってロボットRが転倒しそうな状態であると判断される場合の作動を説明する。

【0078】前述の通り、前記異常処理装置13（図3参照）の転倒判断手段27は、残容量認識手段25から与えられたバッテリー15の残容量の推定値が所定値以下に低下した場合、あるいは、機器異常監視手段26から前記異常発生出力が与えられたとき、あるいはロボット脚制御装置11の姿勢安定化制御演算部36から与えられる補償全床反力モーメント M_{dmdx} 又は M_{dmdy} が足平部

7の着床状態に対応した所定値よりも大きくなった場合には、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断し、前記転倒予想出力を前記動作状態出力手段28とロボット脚制御装置11（詳しくは歩容生成器30）とに与える。

【0079】このとき、ロボット脚制御装置11の歩容生成器30は、前記図6又は図7に示したようにロボットRが腰をかがめて該ロボットRの上体（胴体2）の重心を下げるような目標運動パターンを生成するため、ロボット脚制御装置11の各部の前述したような制御処理によって、基本的には、ロボットRの可動脚3は該目標運動パターンに従って動作し、該ロボットRは腰をかがめるように動作する。

【0080】このため、ロボットRの重心が下がり、その後、ロボットRが転倒して床等の物体に衝突したとしても、ロボットRが受ける衝撃、あるいは相手側の物体が受ける衝撃は比較的小さなもので済み、ロボットRや相手側の物体が受ける損傷を軽減することができる。また、転倒判断手段27は、前述のような条件でロボットRが転倒しそうな状態であると判断するため、その判断を的確に行うことができ、ひいては、上記のようにロボットRの重心を下げる動作を的確なタイミングで行うことができる。

【0081】また、異常処理装置13の動作状態出力手段28は、転倒判断手段27から転倒予想出力が与えられた直前あるいはその前後の所定期間のロボットRの前記動作状態データを不揮発性の記憶手段29に出力して、該記憶手段29に記憶保持させる。

【0082】尚、本実施形態では、上記のような処理を行った後、ロボット脚制御装置11やロボット腕制御装置12はそれぞれロボットRの可動脚3及び可動腕4の動作を停止させるように脚アクチュエータ5及び腕アクチュエータ8を制御する。

【0083】以上の場合、特に、残容量認識手段25が認識したバッテリー15の残容量の推定値が所定値以下に低下した場合に上記のようなロボットRの動作を行うことで、次のような効果が得られる。

【0084】すなわち、ロボットRがその重心を下げるように動作することで、ロボットRの位置エネルギーが減少するため、一般には、各可動脚3の脚アクチュエータ5を構成する電動モータ18のうちのいくつかは、ロボットRの重さによって回転し、回生発電状態となる。そして、その回生発電電力は、前記アンプ20を介してバッテリー15側に供給されるため、該バッテリー15に充電されたり、あるいは前記コンデンサ22に蓄えられる。このため、この回生発電電力を可動脚3の電力を消費する電動モータ18や前記ロボット脚制御装置11、異常処理装置13等の動作電力として活用することができ、バッテリー15の残容量が少ない状態であっても、前述のようにロボットRの転倒時の衝撃を緩和すべくロボ

ットRの重心を下げる動作や、動作状態出力手段28によってロボットRの動作状態データを記憶手段29に記憶保持させる動作を可能な限り十分に行うことができる。

【0085】そして、ロボットRの動作状態データを不揮発性の記憶手段29に記憶保持させることで、その後、バッテリー15を充電し直してロボットRの動作を再開する場合に、記憶手段29に記憶保持された動作状態データを用いて、ロボットRが倒れそうになる前の状態からロボットRの動作を再開することができる。また、記憶手段29に記憶保持された動作状態データを用いて、ロボットRに生じた異常や故障の原因を解析することも可能となる。

【0086】次に、本発明の第2の実施形態を図8を参照して説明する。尚、本実施形態は前記第1の実施形態のものと、一部の構成及び機能のみが相違するものであるので、同一部分については第1の実施形態と同一の参照符号及び図面を用いて説明を省略する。

【0087】図8を参照して、本実施形態では、前記バッテリー15の他、補助電源としてのサブバッテリー37が前記ロボットRに搭載されている。この場合、バッテリー15正極及びサブバッテリー37の正極には、それぞれ、該バッテリー15及びサブバッテリー37への電流の流入を阻止するダイオード38、39が接続され、これらのダイオード38、39を介して、前記各電動モータ18、19毎のアンプ20、21や、ロボット脚制御装置11、ロボット腕制御装置12、異常処理装置13、コンデンサ22が接続されている。この構成により、各電動モータ18、19の回生時の発電電力は、バッテリー15やサブバッテリー37には供給されず、コンデンサ22に蓄電されるようになっている。尚、サブバッテリー37の通常時の端子電圧は、バッテリー15の通常時の端子電圧よりも若干低いものとされている。また、コンデンサ22は、本実施形態では、例えば電気二重層コンデンサのような比較的大容量のものを用いている。

【0088】また、本実施形態では、バッテリー15の残容量を認識するためにバッテリー15側に備えた前記電流検出器23及び電圧検出器24と同様に、サブバッテリー37に流れる電流及びサブバッテリー37の端子電圧をそれぞれ検出する電流検出器40及び電圧検出器41が備えられている。この場合、本実施形態では、異常処理装置13の前記残容量認識手段25は、前述の通り電流検出器23及び電圧検出器24の出力データからバッテリー15の残容量を認識する他、電流検出器40及び電圧検出器41の出力データからサブバッテリー37の残容量も認識するようにしている。そして、異常処理装置13の前記転倒判断手段27は、残容量認識手段25により認識されるバッテリー15及びサブバッテリー37の残容量のいずれもが、あらかじめ設定された所定値以下に低下したときに、前記転倒予想出力を生成するようにしてい

る。

【0089】以上説明した以外の構成及び機能は前記第1の実施形態と全く同一である。

【0090】かかる本実施形態の装置では、例えばバッテリー15及びサブバッテリー37の両者の残容量が所定値以下に低下すると、異常処理装置13の転倒判断手段27が前記転倒予想出力を生成して、それをロボット脚制御装置11の歩容生成器30に与え、このとき、ロボットRがその腰を下げて重心を下げるように動作することは前記第1の実施形態と同様である。

【0091】この場合、各可動脚3の脚アクチュエータ5を構成する電動モータ18の回生発電電力が、コンデンサ22に蓄えられ、それが、可動脚3の電力を消費する電動モータ18や前記ロボット脚制御装置11、異常処理装置13等の動作電力として活用される。これにより、バッテリー15及びサブバッテリー37の残容量が少ない状態であっても、第1の実施形態と同様に、ロボットRの転倒時の衝撃を緩和すべくロボットRの重心を下げる動作や、動作状態出力手段28によってロボットRの動作状態データを記憶手段29に記憶保持させる動作を可能な限り十分に行うことができる。

【0092】そして、このとき、電動モータ18の回生発電電力は、前記ダイオード38、39によってバッテリー15やサブバッテリー37に充電されることなくコンデンサ22に蓄えられるため、該回生発電電力を、ロボットRの重心を下げる動作や、動作状態出力手段28によってロボットRの動作状態データを記憶手段29に記憶保持させる動作を行うためのエネルギーとしてより有効に活用して、これらの動作を可能な限り十分に行うことができる。すなわち、バッテリー15やサブバッテリー37の充電は、一般にエネルギー損失を伴うが、これに比して、コンデンサ22の充電時のエネルギー損失は比較的小さい。従って、前記回生発電電力をバッテリー15やサブバッテリー37に充電せずにコンデンサ22に蓄えるようにすることで、該回生発電電力を、ロボットRの重心を下げる動作や、動作状態出力手段28によってロボットRの動作状態データを記憶手段29に記憶保持させる動作を行うためのエネルギーとしてより有効に活用することができる。

【0093】次に、本発明の第3の実施形態を図9を参照して説明する。尚、本実施形態は前記第1の実施形態のものと、一部のみが相違するものであるので、同一部分については第1の実施形態と同一の参照符号及び図面を用いて説明を省略する。

【0094】本実施形態では、前記異常処理装置13は、前記転倒判断手段27によりロボットRが転倒しそうな状態であると判断したときに生成する前記転倒予想出力をロボット脚制御装置11に与える他、前記ロボット腕制御装置12にも与えるようにしている。そして、ロボット脚制御装置11及びロボット腕制御装置12

は、例えばロボットRの歩行時において前記転倒予想出力が異常処理装置13から与えられたとき、例えば図9に示すようにロボットRを動作させる。すなわち、ロボット脚制御装置11は、前記第1の実施形態と同様にロボットRの腰をかがめてその重心を下げるように脚アクチュエータ5を制御し、また、ロボット腕制御装置12は、各可動腕4のハンド10を床に向かって下げて着床させるように腕アクチュエータ8を制御する。

【0095】以上説明した以外の構成及び機能は前記第1の実施形態と同一である。

【0096】かかる本実施形態によれば、ロボットRが転倒しそうな状態となると、ロボットRの重心を下げるように可動脚3が動作する他、ロボットRの可動腕4が着床するように動作するため、その転倒に際してのロボットRや床が受ける衝撃をより効果的に緩和することができる。

【0097】尚、以上説明した各実施形態では、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断する条件の一つとして、前記補償全床反力モーメント M_{dmdx} 又は M_{dmdy} が足平部7の着床状態に対応した所定値よりも大きくなったか否かを用いるようにしたが、これに代えて、例えば前記上体姿勢偏差が所定値よりも大きくなったか否か、あるいは、該ロボットRの上体の実傾斜姿勢が目標傾斜姿勢から離間する方向で前記上体姿勢偏差の時間的な変化度合い(変化速度)が所定値よりも大きくなったか否か、あるいは、それらの両者の条件が満たされるか否か、あるいは、上記上体姿勢偏差及びその時間的な変化度合いの重み付平均の値が所定値よりも大きくなったか否か(これは実質的に前記補償全床反力モーメント M_{dmdx} 又は M_{dmdy} が所定値よりも大きくなったか否かを見る場合と等価で、前記式(1)、(2)中のゲイン値 K_{thx} 、 K_{wx} 、 K_{thy} 、 K_{wy} が重みに相当する)により、ロボットRが転倒しそうな状態であるか否かを判断するようにしてもよい。この場合において、上体姿勢偏差やその変化度合い、あるいはそれらの重み付平均の値と比較する所定値は、前記各実施形態と同様に、ロボットRの両脚支持期と片脚支持期とで各別に設定することが好ましい。

【0098】また、前記各実施形態では、ロボットRがある程度自律的にその姿勢の安定化を図るものを示したが、このような機能を備えていないロボットについても本発明を適用することができることはもちろんであり、さらには、二足以上の複数の可動脚を有するロボットについても本発明を適用することができる。

【0099】また、前記各実施形態では、バッテリーの残容量が少なくなったとき、あるいは、ロボットの種類機器の異常が生じたとき、あるいは、ロボットの上体の傾斜姿勢を目標傾斜姿勢側に復元させるための前記補償全床反力モーメント M_{dmdx} 又は M_{dmdy} が足平部7の着床状態に対応した所定値よりも大きくなったとき(換言すれば、ロボットの上体の傾斜姿勢が目標傾斜姿勢に対して

比較的大きくずれたり、ロボットの上体の傾斜姿勢が目標傾斜姿勢から離間する側に比較的大きな速度で動いているとき)にのみ、ロボットが転倒しそうな状態であると判断したが、例えばロボットの可動脚が予期しない凹凸を有する床や軟弱な床に着床したような状態を可動脚に備えた荷重センサ等を用いて検出し、この場合に、ロボットが転倒しそうな状態であると判断するようにしてもよい。

【0100】また、前記各実施形態では、ロボットRが転倒しそうな状態であると判断される直前あるいはその前後の所定期間の前記動作状態データをロボットRに備えた不揮発性の記憶手段29に出力して記憶させるようにしたが、該動作状態データを通信によってロボットの外部に出力し、それをロボットの外部に備えた適宜の記憶手段に記憶保持させるようにしてもよい。この場合には、該記憶手段は不揮発性のものでなくてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態における脚式移動ロボット(二足歩行型ロボット)の構成を示す側面図。

【図2】図1のロボットに備えたバッテリーと電動モータ等との接続構成を示す図。

【図3】図1のロボットに備えた異常処理装置の機能的構成を示すブロック図。

【図4】図1のロボットに備えたロボット脚制御装置の機能的構成を示すブロック図。

【図5】図1のロボットの通常歩行時の運動パターンを説明するための説明図。

【図6】図1のロボットが転倒しそうな状態での運動パターンを説明するための説明図。

【図7】図1のロボットが転倒しそうな状態での運動パターンを説明するための説明図。

【図8】本発明の第2の実施形態におけるバッテリーと電動モータ等との接続構成を示す図。

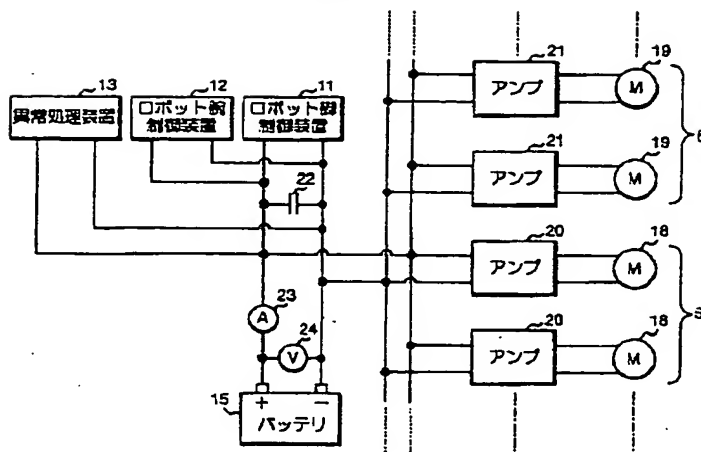
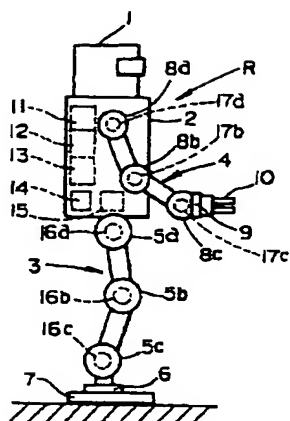
【図9】本発明の第3の実施形態におけるロボットが転倒しそうな状態での運動パターンを説明するための説明図。

【符号の説明】

R…脚式移動ロボット(二足歩行型ロボット)、2…胴体(上体)、3…可動脚、4…可動腕、5…可動脚のアクチュエータ、8…可動腕のアクチュエータ、11…ロボット脚制御装置(可動脚のアクチュエータ制御手段)、12…ロボット腕制御装置(可動腕のアクチュエータ制御手段)、14…傾斜検出器(上体傾斜姿勢検出手段)、15、37…バッテリー、18…電動モータ(電動式アクチュエータ)、22…コンデンサ、25…残容量認識手段、26…機器異常監視手段、27…転倒判断手段、28…動作上体出力手段、29…記憶手段、32…複合コンプライアンス動作決定部(足平位置/姿勢修正手段)、35…上体姿勢偏差算出部、38、39…ダイオード。

【图 2】

FIG. 2



【図 5】

FIG. 5
目標運動パターン
(正常歩行時)

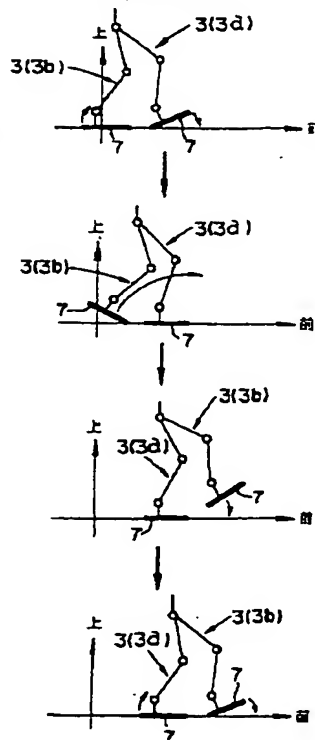
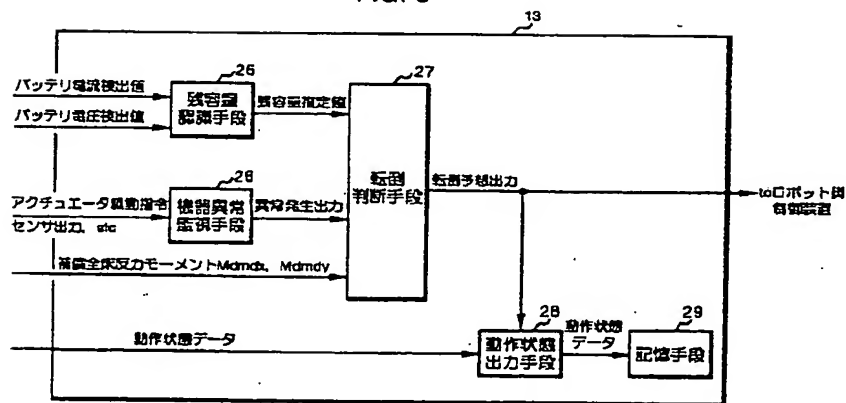
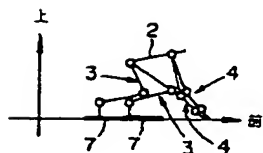


FIG. 9



フロントページの続き

(72)発明者 松本 隆志

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内